

下一代高功率 先進功率因數校正

■ 作者：Chris Siegl/ 快捷半導體

什麼是功率因數？

功率因數(PF)的定義是指電網(視在功率)中提供的功率與負載實際消耗的功率(實際功率)之間的比例。功率因數「1.0」定義為由消耗全部功率的完全阻性負載組成的元件。在理想情況下，交流輸入電壓與電流同相並且未失真。當電流與電壓同相的純正弦波情況下，功率因數是 $1(\cos(0^\circ) = 1)$ 。

由於大部分開關電源(SMPS)輸入非正弦電流，必須糾正波形以便最大程度地減少輸入電流失真以及相位校正。功率因數校正(PFC)要求的關鍵標準是歐盟標準EN61000-3-2，該標準於2001年生效。該標準設定了對第40次諧波交流輸入電流諧波的限制。使用合適的PFC能夠顯著簡化對該標準的遵從性。圖1顯示不帶PFC功能的電源的典型輸入電路。

圖1還顯示電容Cin大小電容放電速度非常慢，因此導通只在整流交流波形中間很短的時間發生，其餘時間沒有電流。電流脈衝的寬度隨負載變化(在電壓波谷期間對電容放電)。

要如何對此校正？我們需要更好的方法對開關電源的保持電容充電，同時保持正弦電流與輸入

電壓波形同相。為了避免每個輸入電壓峰值中心的高電流脈衝，必須在整個電壓週期內對電容充電。始終為電容充滿電，電容的尺寸可以減小，同時維持相同的保持時間。當在整個電壓週期內將電容電壓升高於峰值輸入電壓時，我們就能產生與電壓週期同相並接近功率因數1的電流正弦波。

圖 2-1：PFC 升壓電路

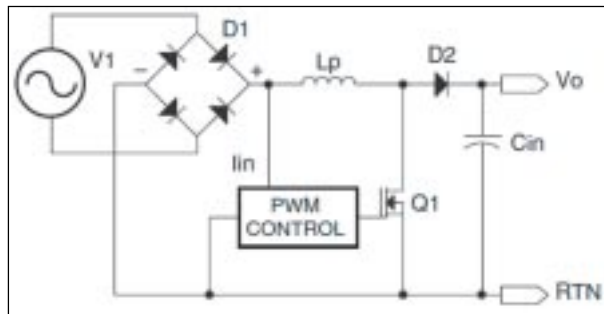


圖 2-2：PFC 升壓電路非連續運行模式

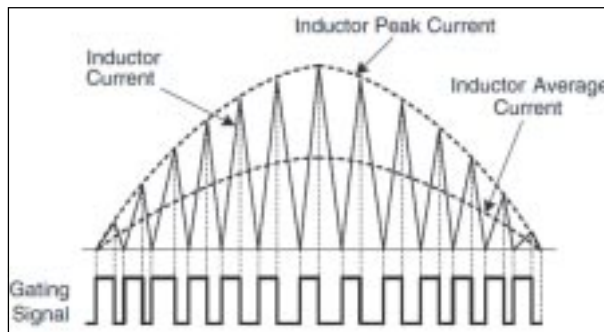
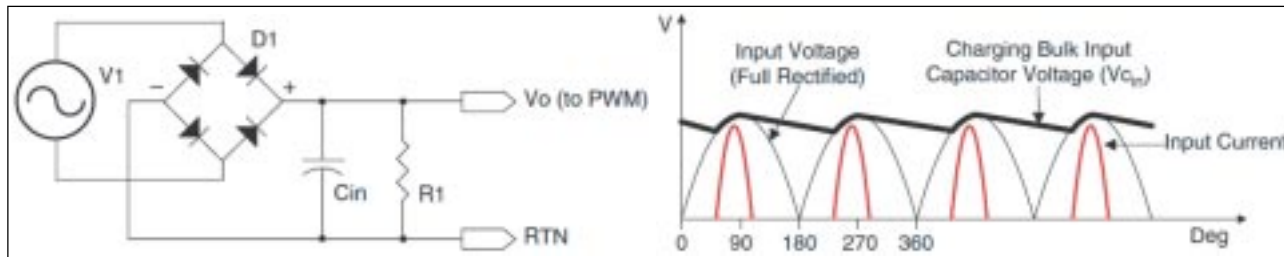


圖 1：不帶 PFC 電路的 SMPS 輸入與電壓與電流波形



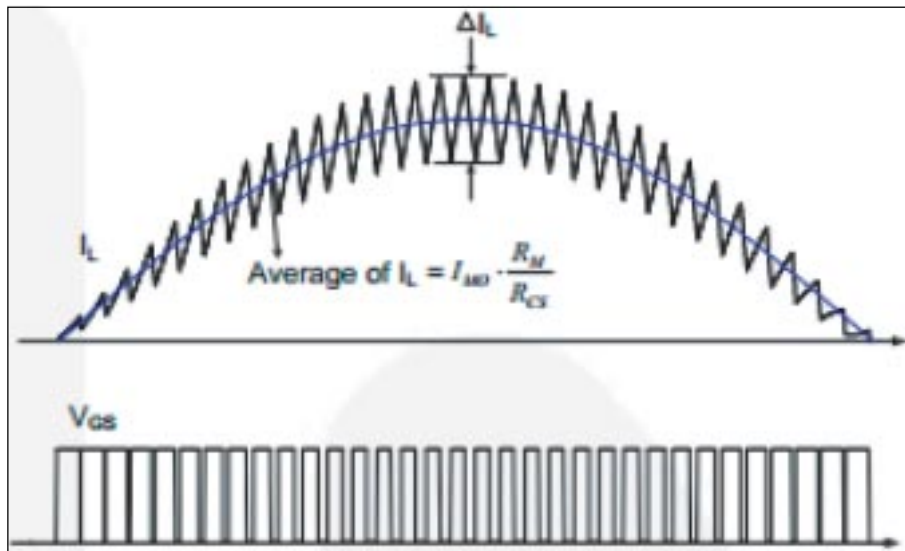
使用升壓轉換器進行因數校正

如果在合適的頻率調變升壓轉換器以便在整個電壓週期分配電流脈衝，就能很容易實現升壓轉換器並且使其正常工作。圖 2 顯示基本的升壓電路。波形顯示該電路如何在整個電壓週期分配電流中工作。顯示的運行是在形成平均電流的一系列電流脈衝中執行升壓運行的非連續模式。這是經過證實的 PFC 方法，通常用於大約 300 瓦特。該解決方案的缺點是需要較大的磁性元件內核，擁有感應較大集膚效應(skin effect)的較大電感器電流擺幅，導致電感器中較大的損失，需要較大的輸入濾波器。

對於更高的功率水準(大於 300 瓦特)，首選連續導通模式(CCM)。在這種模式中，電感器中電流在開關週期中沒有達到零，如圖 3 所示。電壓擺幅低於非連續模式，但紋波電流低得多。這會導致更低的電感器內核損失，EMI 減少會進一步減小所需輸入濾波器的尺寸。

在 CCM 模式下，關斷 MOSFET 同時保持電流流動，需要一個非常快速的反向恢復二極體來最小化關斷期間的損失。CCM 升壓轉換器的一些優勢包括升壓電感器中的連續輸入電流，以及較寬的輸入電壓範圍(一直到零伏)。電感電流紋波減少了，這是因為每個週期的典型開始電流大於 0 安培，這會減少開關元件中的最大峰值電流。平均電流模式

圖 3：CCM PFC 運行模式



的控制回路保持與輸入電壓成正比的電流，電壓控制回路調節升壓後的輸出電壓。

透過交錯式運行實現較高功率的功率因數校正

由於透過負載電流分配可以實現更高的效率，交錯式升壓功率因數校正(PFC)轉換器已成為高功率應用的拓撲選擇。透過在多個平衡相位分配負載電流，每個相位的 RMS 電流應力、電流紋波及升壓電感器尺寸顯著減少。因此，可以顯著提高最大負載效率，從而允許選擇更具成本效益的功率 MOSFET 及升壓二極體，並透過減小元件應力提高電源的壽命。

FAN9673 三通道交錯式 CCM PFC 控制器

作為 Fairchild 最新一代的 PFC 控制器，FAN9673 是一款先進的 PFC 控制器，可以提供最佳的高功率 PFC(超過幾千瓦)解決方案。FAN9673 是連續導通模式(CCM) PFC 控制器，用於三通道交錯式升壓型預調節器。

FAN9673 具有實現先進的平均電流模式及升壓型功率因數校正的能力，支持設計完全符合 IEC1000-3-2 規範的電源。

FAN9673 的關鍵特性是創新型通道管理功能，允許備用通道的功率電平在 CM 引腳電壓控制下平穩上升與下降，從而改善 PFC 控制器的負載瞬態回應。圖 4 顯示在 5 千瓦 PFC 轉換器中使用 FAN9673 的典型應用電路。

為該設計選擇的 IGBT 600 V FGH40N60SMDF 能夠實現快速開關($E_{OFF} = 6.5 \mu J/A$)及低飽和電壓($V_{CE(sat)} = 1.9 V$)

圖 4：基於 FAN9673 的 3 通道的交錯式 5000 瓦 CCM PFC

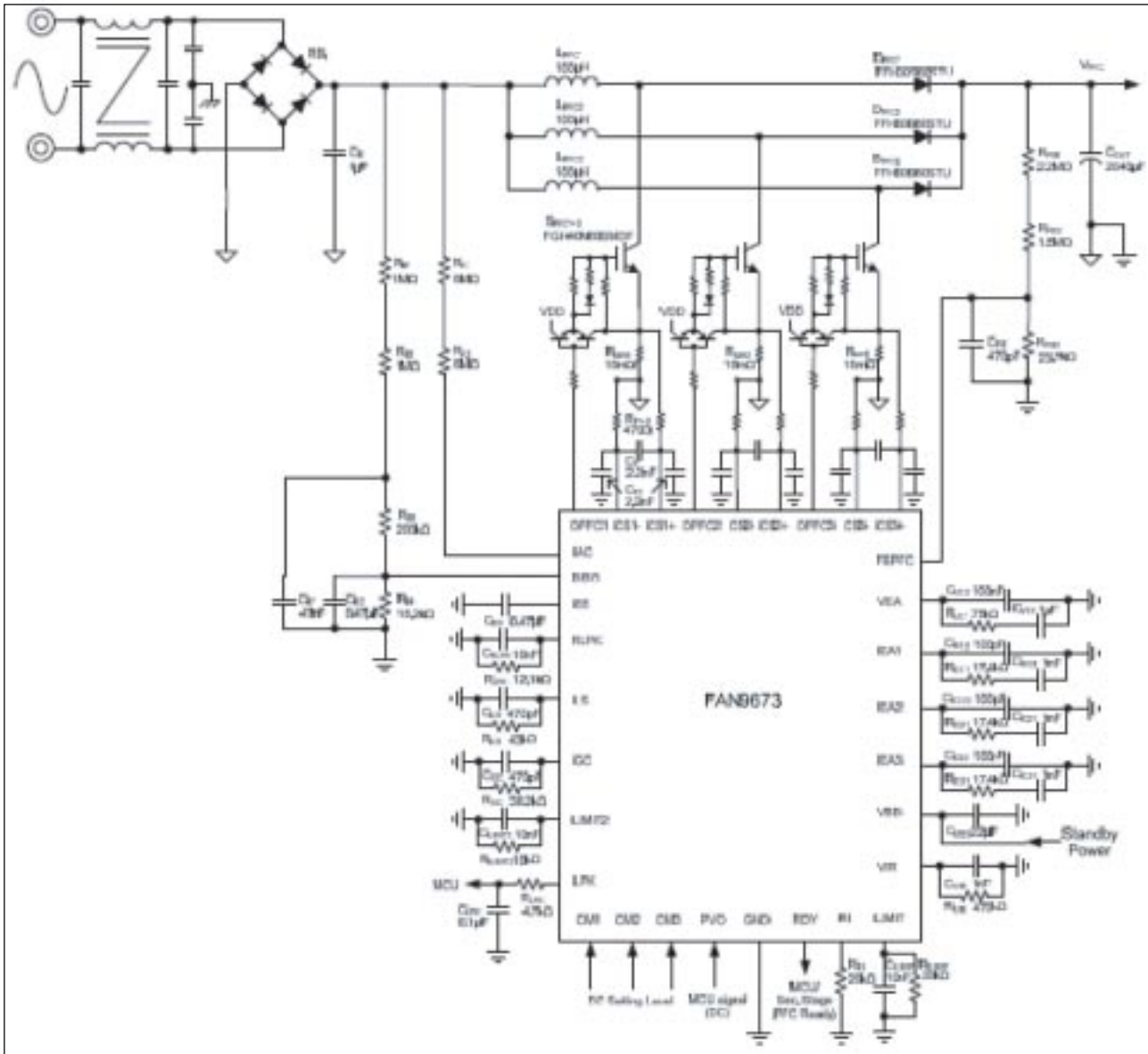


表 1：基於 FAN9673 的 3 通道交錯式 5 千瓦 CCM PFC 規格

Line Voltage Range	180~264 V _{AC}	PFC Output Voltage Ripple	5%
Line Frequency	50 Hz	Switching Frequency	f _{sw} = 40 kHz
Nominal PFC Output Voltage	V _{PFC} = 393 V	PFC Efficiency	η > 0.95
Minimum PFC Output Voltage	V _{PFC2} = 350 V	Brownout Line Voltage	160 V _{AC}
Output Power	P _O = 5 kW	Brown-In Line Voltage	170 V _{AC}
Number of Channel	3	Channel Management Method	External Signal from MCU

(典型值) @ IC = 40 A)，對於升壓二極體而言，所選的STEALTH II FFH30S60STU二極體具有較低的存儲電荷及超快速軟恢復特性，能夠最大程度地減

少功率開關電路中的振鈴及雜訊，並提供卓越的性
能。 [CTA](#)